

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



03 JUN 2004



(43) Date de la publication internationale  
8 janvier 2004 (08.01.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/004102 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

**H02K 41/03**

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/002034

(22) Date de dépôt international : 1 juillet 2003 (01.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

02/08194 1 juillet 2002 (01.07.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)** [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange,  
F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BEN AHMED, Abdel, Hamid** [DZ/FR]; 4, place Pierre Gilles, Résidence Canada Parch, F-35200 Rennes (FR). **MULTON, Bernard** [FR/FR]; 14, allée Simone Weil, F-35200 Rennes (FR). **CAVAREC, Pierre-Emmanuel** [FR/FR]; 12, Rue des Ajoncs, F-35310 MORDELLES (FR). **ANTUNES MENOITA, Marc** [FR/FR]; 26, square Daniel Balavoine, F-35170 Bruz (FR).

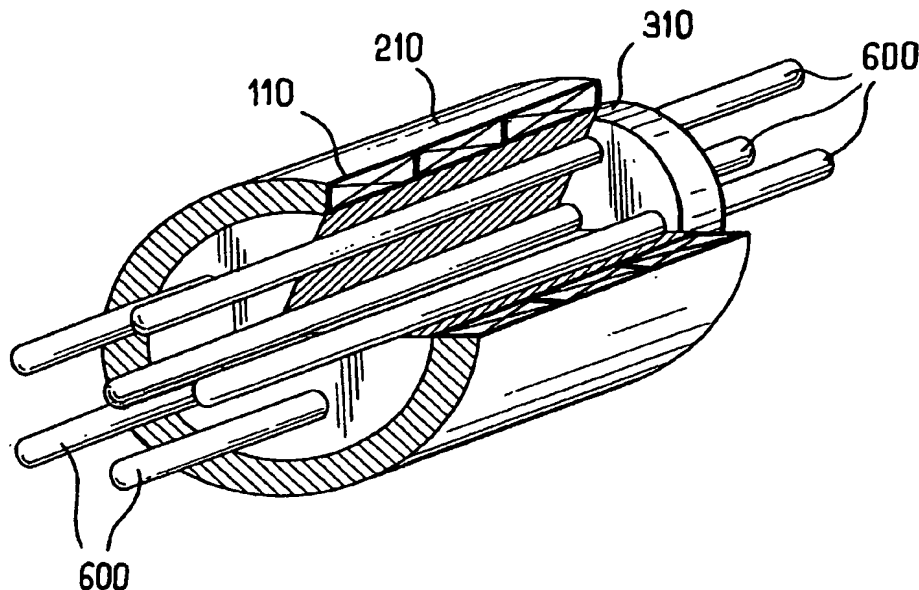
(74) Mandataires : **MARTIN, Jean-Jacques** etc.; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: LINEAR ACTUATOR OR GENERATOR WITH RODS

(54) Titre : ACTIONNEUR OU GENERATEUR LINEAIRE A TIGES



(57) Abstract: The invention concerns an electrical machine, whereof the active part includes a global solenoid winding (110, 210, 310) for each phase and includes, inside said winding(s), a stack of ferromagnetic or non-magnetic parts (400) and magnetized parts (500), the ferromagnetic or non-magnetic parts being provided with passages traversed each by at least one relatively sliding element (600), each sliding element constituting a succession of portions alternately magnetic (620) and non-magnetic (630), the passages formed in the ferromagnetic or non-magnetic parts of the stack forming orifices whereof the internal cross-section encloses each time one sliding element, the sliding elements (600) consisting in rods having each an outer periphery matching the internal cross-section of the traversed orifices.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/004102 A1



LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale  
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(57) **Abrége :** L'invention concerne une machine électrique, la partie active comprenant un bobinage solénoïdal global (110, 210, 310) pour chaque phase et comprenant, à l'intérieur de ce ou ces bobinages, un empilage de parties ferromagnétiques ou amagnétiques (400) et de parties aimantées (500), les parties ferromagnétiques ou amagnétiques étant munies de passages traversés chacun par au moins un élément en coulissement relatif (600), chaque élément coulissant incluant une succession de portions alternativement magnétiques (620) et amagnétiques (630), les passages formés dans les parties ferromagnétiques ou amagnétiques de l'empilage formant des orifices dont la section interne entoure à chaque fois un élément coulissant, les éléments coulissants (600) étant des tiges ayant chacune un pourtour externe complémentaire de la section interne des orifices traversés.

## Actionneur ou générateur linéaire à tiges

L'invention concerne les actionneurs ou générateurs électriques et  
5 notamment ces derniers lorsqu'ils visent à fournir ou accepter une très  
haute densité d'efforts, c'est à dire une force élevée pour un volume faible.

De manière générale, un entraînement mécanique nécessite souvent  
l'obtention d'une force de poussée élevée sans systèmes lourds ni  
volumineux.

10 Il en est ainsi dans les appareils de transport (avions, trains).

Par exemple, la plateforme d'inclinaison variable d'un train  
pendulaire est actionnée par des vérins devant répondre à ces exigences.  
De même, la compensation active des vibrations dans tout type d'appareil  
de transport nécessite l'utilisation de vérins puissants bien que de petite  
15 taille mais également à hautes performances dynamiques.

Dans les applications habituelles des actionneurs à haute densité  
d'effort, on utilise des vérins hydrauliques ou pneumatiques, ou encore des  
actionneurs électriques tournants nécessitant une transformation de  
mouvements du type rotation/translation (typiquement à l'aide d'un montage  
20 vis-écrou).

Avec les actionneurs linéaires électriques directs (sans conversion  
de mouvement rotation-translation), en rapportant la force générée au  
volume utilisé, on relève typiquement une force volumique de 300 N/litre.  
De telles densités d'effort restent souvent trop faibles.

25 De plus, les différents actionneurs électriques indirects ou les vérins,  
proposés jusqu'ici, ont des inconvénients importants parmi lesquels : des  
limitations de bande-passante mécanique et de contrôlabilité, des  
contraintes mécaniques importantes d'usure et de bruit, la nécessité d'une  
alimentation en fluide sous pression avec la complexité qui est inhérente à  
30 une telle alimentation, et plus généralement un rendement énergétique  
global faible.

Dans le domaine des actionneurs électriques, on a certes déjà proposé d'accroître les surfaces d'entrefers, interfaces magnétiques entre partie fixes et mobiles.

Toutefois, dans de tels actionneurs, appelés typiquement  
5 polyentrefers à bobinage global, les parties mobiles se sont avérées, présenter une résistance mécanique particulièrement faible de par leur faible section et les difficultés de guidage se sont révélées très difficiles à surmonter.

La présente invention se donne pour but principal de résoudre les  
10 inconvénients des techniques connues, c'est à dire de proposer un actionneur électrique à éléments mobiles multiples, qui montre une densité volumique d'effort particulièrement importante, tout en ayant une fiabilité mécanique élevée notamment en facilitant les guidages mécaniques.

Ce but est atteint selon l'invention grâce à une machine électrique  
15 formant actionneur ou générateur, comprenant une partie active à une ou plusieurs phases destinée à être reliée à une source ou à une charge électrique, et une partie passive, ces deux parties étant mobiles l'une par rapport à l'autre, la partie active comprenant un bobinage solénoïdal global pour chaque phase et comprenant, à l'intérieur de ce ou ces bobinages, un  
20 empilage de parties ferromagnétiques ou amagnétiques et de parties aimantées, les parties aimantées ayant des directions d'aimantation parallèles au sens de déplacement relatif et des sens d'aimantation opposés successivement l'un à l'autre, les parties ferromagnétiques ou amagnétiques de cet empilage étant munies de passages traversés chacun  
25 par au moins un élément en coulissement relatif par rapport à la partie active, ce ou ces éléments coulissants constituant la partie passive, chaque élément coulissant incluant une succession de portions alternativement magnétiques et amagnétiques prévues pour se trouver les unes après les autres en vis à vis des différentes parties aimantées ou non de l'empilage,  
30 de sorte qu'un flux magnétique alternatif soit alors généré dans le bobinage de chaque phase, caractérisé en ce que les passages formés dans les parties ferromagnétiques ou amagnétiques de l'empilage forment des orifices dont la section interne entoure à chaque fois un élément coulissant,

et en ce que les éléments coulissants sont des tiges ayant chacune un pourtour externe complémentaire de la section interne des orifices traversés, de sorte que chaque tige vient en interaction magnétique avec la partie ferromagnétique ou amagnétique traversée par l'ensemble de son pourtour externe.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, faite en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- les figures 1 et 2 sont des coupes longitudinales partielles du dispositif, illustrant deux positions successives de ce dernier, appelées respectivement conjonction positive et conjonction négative.
- la figure 2bis est une vue détaillée d'un motif élémentaire d'une partie alimentée de la machine électrique des figures 1 et 2 ;
- la figure 3 est une vue générale en perspective coupée d'une machine électrique selon l'invention ;
- la figure 4 est une vue éclatée d'une portion d'élément mobile d'une machine électrique selon l'invention ;
- la figure 5 est une vue éclatée d'une portion de partie active de la machine électrique selon l'invention ;
- les figures 6 et 7 représentent schématiquement une machine électrique selon l'invention, dans des positionnements respectifs où les efforts produits sont de sens opposés l'un à l'autre ;
- la figure 8 est une vue en perspective coupée d'un capteur de position selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;
- la figure 9 est une vue éclatée de ce même capteur ;
- la figure 10 est une vue générale d'une machine électrique selon l'invention illustrant le positionnement d'un support de capteur des figures 8 et 9 ;
- la figure 11 est une vue d'un support de capteur selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 12 est un tracé illustrant la variation de l'inductance magnétique du bobinage primaire d'un tel capteur en fonction de la position d'un élément mobile correspondant ;

- la figure 13 est un schéma électrique d'un dispositif de mesure différentiel traitant et analysant les signaux de sortie de trois tels capteurs.

Le présent dispositif est naturellement réversible pourvu que la charge et la source le soient également.

5 Un fonctionnement moteur est relatif à une conversion électromécanique entre une source et une charge, la première étant de nature électrique (on parle alors d'alimentation électrique de puissance) et la seconde de nature mécanique (on parle alors de charge entraînée). Dans un fonctionnement générateur, la source est de nature mécanique (source  
10 mécanique entraînante) et la charge est de nature électrique absorbant de la puissance électrique.

D'autre part, le dispositif comporte deux parties : une partie comportant les bobinages électriques et des aimants permanents et une partie complètement passive composée de tiges, l'une et l'autre pouvant  
15 être fixe ou mobile. On parlera donc de mouvement ou coulissement relatif pour qualifier l'ensemble des possibilités de mouvement relatif entre les deux parties.

Pour une plus grande simplicité de compréhension, nous prendrons le cas où la machine électrique est en fonctionnement moteur (ou  
20 actionneur) et la partie mobile correspond aux tiges. Les remarques et caractéristiques, qui seront mises en avant, seront donc tout aussi valables pour un fonctionnement générateur et/ou à partie passive fixe.

La machine électrique décrite ici est composée pour sa partie active alimentée d'un ou de plusieurs bobinages de puissance (bobinages 110,  
25 210 et 310 sur la figure 3), dits bobinages induits. Ces bobinages sont de forme solénoïdale, et entourent complètement une zone de la partie alimentée ainsi que la partie passive.

La partie alimentée comporte, outre ces bobinages, un empilage de tôles magnétiques ou amagnétiques et d'aimants permanents 500.

30 La partie passive, quant à elle, est composée d'un ou de plusieurs éléments allongés 600, dont on décrira la forme par la suite.

A l'inverse des structures classiques (notamment à champs tournants), la technologie connue de « polyentrefers à bobinage global »

permet de diminuer le pas de déplacement sans pour autant dégrader l'énergie convertie totale. Ceci permet donc, à volume total et à conditions thermiques et magnétiques donnés, d'accroître la force générée.

On vise ici à ce que la somme des surfaces entrefer, c'est à dire les surfaces actives externes des tiges, soit maximale en rapport au volume de l'actionneur considéré.

Pour cela, on propose dans le présent exemple de réalisation une série de tiges ayant chacune une périphérie circulaire, qui interagit avec chaque tôle ou partie ferromagnétique ou amagnétique par l'ensemble de son pourtour.

En d'autres termes, les flux magnétiques, véhiculés par les parties en tôle, sont appliqués à la tige par l'ensemble de son pourtour.

L'avantage principal de cette forme réside dans la précision de réalisation et ainsi la possibilité de faciliter les guidages mécaniques tout en permettant des entrefers faibles.

Une tige de section ovoïdale, ou plus généralement une tige entourée totalement par des zones ferromagnétiques ou amagnétiques, elles-mêmes en contact avec les aimants, serait également avantageuse pour générer une variation maximale de flux magnétique en rapport à l'étendue de la section de cette tige.

Pour réaliser des aimants 500 et parties magnétiques ou amagnétiques 400 qui entourent totalement la tige cylindrique 600 considérée, la partie alimentée est ici entre autre un ensemble composite constitué d'un empilage de tôles magnétiques ou amagnétiques et d'aimants permanents, et les aimants permanents entourent chaque tige de manière complémentaire à la périphérie de celle-ci.

Cet empilement est parallèle au déplacement de la tige et il est alterné le long de cette direction.

La distance définie par la somme des épaisseurs d'une tôle magnétique ou amagnétique 400 et de l'aimant suivant 500, correspond à un demi-pas de déplacement relatif d'une tige.

Plus précisément maintenant, telle que représentée sur la figure 3, la partie alimentée est composée de trois phases ( $q=3$ ) identiques et décalées

dans l'espace (dans le sens du déplacement) d'un nombre égal à  $N \cdot \text{pas} / (2 \cdot q)$ ,  $N$  étant un entier.

Chaque phase est composée :

- d'un bobinage de puissance 110, 210, 310 (dit induit) de forme solénoïdale entourant la zone active de la partie alimentée ;
- d'un empilage de circuits magnétiques ou amagnétiques (tôles) 400 et d'aimants permanents 500 d'aimantation parallèle au déplacement. Cette partie comporte des trous circulaires où passent les parties mobiles 600 ;
- de circuits magnétiques de retour du flux : deux circuits d'extrémité 120, 130 et un circuit extérieur 140 de forme tubulaire, le tout enfermant les bobinages et la zone active.

La partie passive est quant à elle composée principalement de plusieurs tiges 600 parallèles se déplaçant relativement à travers la partie alimentée.

- 15 Les tiges 600 sont ici composites également et comportent une âme amagnétique sur laquelle est disposé un empilage de rondelles successivement magnétiques et amagnétiques, telles qu'on les décrira par la suite. Mais d'autres procédés de réalisation sont aussi envisageables pourvu que l'on obtienne l'alternance longitudinale adéquate magnétique-amagnétique.

20 Le principe de fonctionnement de la machine électrique est proche de celui des machines synchrones à aimants permanents.

- 25 De manière connue en soi, et notamment selon le principe connu des machines électriques synchrones, un déplacement des parties mobiles 600 générant au sein du bobinage de puissance un flux alternatif et par conséquent une force électromotrice (f.e.m.) alternative.

- 30 L'injection d'un courant alternatif, en synchronisme avec cette f.e.m., dans le bobinage (l'induit) engendre, selon la même logique, une puissance électromagnétique de valeur moyenne non nulle et donc une force motrice d'action sur les éléments mobiles et de réaction sur la partie fixe.

Il existe ainsi deux positions caractéristiques de la partie mobile, représentées aux figures 1 et 2 : une position de conjonction positive (figure 1) où le flux vu par le bobinage induit et généré par « les aimants actifs »



500 est arbitrairement positif et une position de conjonction négative (figure 2) où ce flux est négatif.

Les aimants 500 sont initialement positionnés pour que leurs sens d'orientation soient alternés.

5 De ce fait, un aimant 500 sur deux est inactif.

Le flux des aimants inactifs ne traverse pas le bobinage alimenté correspondant mais est court-circuité par la partie magnétique de la tige qui lui fait face.

10 La tige 600 est constituée d'éléments alternativement magnétiques et amagnétiques avec un pas de tige égal au double pas des aimants.

Tel que représenté sur la figure 5, chaque aimant 500 est un anneau de section interne conforme à la périphérie d'une tige qui le traverse mais ce n'est qu'une solution de réalisation parmi d'autres.

15 Chaque élément de base de l'empilage constituant la partie alimentée comprend donc :

- une paroi en tôle magnétique ou amagnétique 400 présentant une série d'orifices répartis au bord de sa périphérie ;
- et un ensemble d'anneaux-aimants 500 recouvrant chacun le bord d'un orifice correspondant.

20 L'ensemble des anneaux-aimants ainsi répartis constitue donc également l'entretoise aimantée qui sépare deux plaques de tôle magnétique ou amagnétique 400.

25 Selon une variante, on insère entre deux tôles magnétiques ou amagnétiques non pas des aimants de forme annulaire, mais un aimant unique de même forme que les tôles, c'est à dire un aimant ayant la forme d'une plaque percée de plusieurs orifices de passage pour chaque tige respective 600.

30 Telles que représentées sur la figure 4, les tiges 600 ont elles-mêmes ici une structure composite particulièrement avantageuse. Chaque tige consiste en un enfilage successif d'anneaux sur une âme centrale amagnétique.

Ainsi, un axe amagnétique 610 reçoit alternativement une bague magnétique 620 et une bague amagnétique 630, de même diamètre,

formant au final une tige compacte, de structure magnétique appropriée et parfaitement complémentaire des orifices de tôle 400. Ces tiges sont donc, selon cette disposition avantageuse, chacune un empilement de pièces ferromagnétiques 610 et amagnétiques 620.

5 Dans une autre variante, elles peuvent également être monobloc avec des zones alternativement magnétiques et amagnétiques.

On notera que ce mode de réalisation permet, outre une très forte densité volumique d'effort, également une grande dynamique mécanique, c'est à dire une grande capacité d'accélération et une bande passante  
10 importante, et enfin une grande course de la machine.

La faible inertie des parties mobiles est particulièrement propice à cette dynamique mécanique, faible inertie due notamment au fait que la partie mobile est dans ce cas totalement passive, puisque la partie fixe comporte à la fois le bobinage de puissance et l'inducteur (ici les aimants  
15 permanents).

Le mode de fonctionnement selon le principe d'un actionneur synchrone à aimants permanents, à réluctance locale variable à champ longitudinal et à bobinage global est préféré selon l'invention.

Cette disposition particulière permet notamment d'obtenir des tiges  
20 totalement passives et par là de faible volume et de faible poids.

Grâce à la surface cylindrique des tiges, on multiplie les surfaces d'entrefer nécessaires pour obtenir des densités d'effort très élevées.

On notera également que la structure cylindrique des tiges permet  
additionnellement un usinage de précision, un assemblage et un guidage  
25 précis.

La structure cylindrique permet en outre un guidage par bandes de glissement particulièrement avantageux.

On notera en outre que le fait que l'induit entoure totalement la partie passive, (c'est à dire que le bobinage puisse être qualifié de « global »)  
30 permet également que le dispositif ait un volume compact.

Le présent dispositif comporte en outre un système de transmission d'effort réalisé de telle sorte que toutes les tiges 600 ne soient sollicitées qu'en traction, et ce quel que soit le sens de l'effort généré ce qui contribue

à permettre la réalisation d'un dispositif très fractionné à grand nombre de tiges de faible section.

Sur les figures 6 et 7 est représenté un tel système de transmission d'effort selon une variante préférée.

5 On y distingue d'abord un axe 700 de transmission de l'effort résultant généré par l'actionneur. Cet axe 700 s'étend non seulement hors de la machine, mais traverse également l'ensemble de celle-ci.

Dans le présent mode de réalisation, l'axe 700 est muni solidairement de deux plaques d'appui 710 et 720 transversales à cet axe,  
10 plaques positionnées de part et d'autre de la partie active fixe.

C'est sur ces plaques 710, 720 que les tiges 600 viennent transmettre l'effort en vue de l'actionnement de l'axe principal 700.

Pour cela, chaque tige 600 traverse les deux plaques 710 et 720, et vient former, par delà chaque plaque et à l'opposé de la partie active, une  
15 tête 640, 650 l'empêchant d'être extraite de la plaque correspondante.

Lorsque l'effort transmis sur l'axe 700 est un effort de poussée, c'est à dire en direction de la charge actionnée, les têtes de tiges 640 qui sont adjacentes à la charge tendent à se décoller de la plaque 710 (cette tendance est symbolisée par un décollement sur les figures), tandis que les  
20 têtes 650 les plus éloignées de la charge viennent forcer en butée contre la plaque correspondante 720, et repoussent celle-ci en direction de la charge.

A contrario, lorsque l'effort sur l'axe 700 est un effort de traction, les têtes de tiges 650 qui sont les plus éloignées de la charge tendent à se  
25 décoller de leur plaque correspondante 720 (décollement symbolique sur les figures), et les tiges viennent par contre en traction côté charge par l'intermédiaire des têtes 640 appuyées, sur la plaque 710 plus proche de la charge.

Là encore, la transmission de l'effort sur l'axe 700 se fait seulement  
30 par traction dans les tiges 600. L'effort est transmis sur les têtes extrémales la seule plaque située du côté étiré de la tige.

Dans le présent exemple de réalisation, il n'existe aucun jeu sous les têtes de tige, vis-à-vis de la plaque considérée, de sorte que le

soulagement de l'appui à une extrémité des tiges ne se traduit pas forcément par un décollement des têtes de tiges considérées.

Toutefois, selon une variante, les longueurs de tiges 600 peuvent être choisies légèrement supérieures à l'écartement entre les deux plaques 710 et 720, de sorte qu'il existe un léger jeu longitudinal entre la tête 640, 650 de chaque tige 600 considérée et chaque plaque de transmission d'effort 710, 720 correspondante.

Les tiges sont donc sollicitées uniquement en traction quel que soit le sens de l'effort, permet de soulager en contraintes mécaniques les tiges (et éviter les flambages). On peut alors diminuer l'étendue des sections des éléments mobiles, tiges ou autres, par rapport à un système classique de transmission. Ainsi, le nombre de tiges pouvant être disposé dans un même volume peut être élevé. La force volumique est alors accrue en conséquence.

En d'autres termes, les sollicitations des tiges en traction seulement permet l'adoption de tiges de section particulièrement fines, permettant un taux de fractionnement élevé et les avantages associés.

En outre, la présente machine est munie d'un capteur de position 800 qui est intégré à la structure et qui ne surdimensionne pas la machine, permettant ainsi de ne pas accroître le volume de l'ensemble. Ce capteur, fort appréciable pour l'autopilotage de la machine, est de type à réluctance variable. Cette technologie présente l'avantage d'une homogénéité avec celle de la machine contribuant ainsi à la possibilité de fonctionner en environnements difficiles.

Il se compose d'un enroulement primaire d'excitation 810, et d'un enroulement secondaire de mesure 820. Tel que représenté sur les figures 8 et 9, ce capteur exploite la forme générale des tiges 600 décrites ci-dessus. Les deux enroulements 810 et 820 constituent en effet chacun un solénoïde annulaire, rassemblés ensemble dans un capot 830.

Le capot lui-même en forme d'anneau creux, et l'ensemble annulaire 800 ainsi formé présente un diamètre interne complémentaire du diamètre de la tige 600 lors qu'assemblée.

Le capteur 800 est enfilé autour de la tige dans une zone d'extrémité de l'actionneur, recevant la tige en coulissement lors du fonctionnement de l'actionneur.

La réluctance (donc l'inductance) du capteur 800 dépend de la position des tiges mobiles 600. L'injection d'un courant au primaire 810 du capteur, de fréquence et d'amplitude adéquates, engendre au secondaire 820 une force électromotrice dont le module dépend notamment de la valeur de l'inductance et par conséquent de la position de la tige 600.

Ainsi, à partir d'un traitement adéquat électronique et/ou numérique de la mesure de la force électromotrice mesurée, (un exemple de dispositif de mesure différentielle est donné à la figure 13) on peut en extraire aisément l'information de position des tiges.

Dans sa version triphasée, l'actionneur comporte trois capteurs de position de ce type disposés à l'extrémité de l'actionneur sur trois tiges différentes et dédiés chacun au pilotage d'une des trois phases. Chaque capteur 800 est décalé dans le sens du déplacement des tiges d'un nombre égal à  $N \cdot \text{pas} / (2 \cdot q)$ ,  $N$  étant un entier et  $q$  le nombre de phases.

A la figure 12, l'inductance vue par les bobinages 810 et 820 du capteur, en fonction de la position de la tige 600 qu'il entoure, présente sensiblement la forme d'une sinusoïde, de sorte que la prise en considération de cette inductance sinusoïdale en trois positions décalées selon le même décalage que les différentes phases, permet de déduire le positionnement précis de l'actionneur à chaque instant.

Pour positionner ainsi les trois capteurs, on propose un porte-capteur 900 tel que représenté sur la figure 11, constitué d'une plaque en matière amagnétique à trois passages traversants dans laquelle chacun des trois passages forme également une cavité 910 de réception de capteur, cavité 910 de profondeur plus ou moins, la profondeur de cavité correspondant au positionnement choisi pour le capteur. Les cavités présentent ici des différences de profondeur d'un tiers de pas de tige.

Sur le schéma de la figure 13, le dispositif de traitement différentiel des signaux délivrés par les capteurs 800 repose sur le principe d'une même alimentation en courant alternatif (fréquence d'excitation) de chacun

des trois capteurs (les bobinages primaires des trois capteurs sont ainsi mis en série), alimentation obtenue par régulation en courant d'une alimentation réalisée par un correcteur 900, à partir du signal fourni par un générateur de sinus 1000 et par une alimentation alternative 1100. Le signal du  
5 générateur sinus est exploité pour démoduler (démodulateur synchrone 1200) le signal de sortie relevé sur un capteur 800 puis soumis à un filtre passe-bas respectif 1300, de manière à fournir, en sortie de chaque filtre passe-bas 1300 le signal de position dont la variation est parfaitement synchrone de la force électromotrice de la phase considérée (bobinage de  
10 puissance de la machine). La prise en considération de chacun de ces trois signaux sinusoïdaux permet de mesurer la position relative en temps réel de l'ensemble des tiges (partie passive) par rapport à chacune des trois phases (version triphasée).

Le capteur tel qu'ici décrit permet d'éviter des capteurs de position  
15 classiques, par exemple de type optico-magnétique qui limitent habituellement l'environnement d'utilisation, génèrent des pollutions, et augmentent le coût de l'ensemble.

Le fait que le capteur de position utilise les parties mobiles de l'actionneur est également un avantage en soi.

20 Dans sa version triphasée, l'actionneur est alimenté par un onduleur triphasé classique à 6 interrupteurs de puissance et ses trois phases sont de préférence couplées en étoile. Vu de l'onduleur son fonctionnement s'apparente à celui d'une machine synchrone classique à aimants permanents à la seule différence que les couplages magnétiques entre ses  
25 phases sont très faibles voire négligeables.

On aura noté à travers l'exposé ci-dessus, d'un mode de réalisation particulier, les nombreux avantages apportés par les diverses dispositions décrites.

Les essais réalisés sur cet actionneur ont montré qu'il peut fournir  
30 une force totale de 1270 N pour un courant efficace de 15 A.

L'intensité volumique d'effort correspondante est donc de 1,2 kN/litre, et il est même envisagé d'obtenir une densité de 2kN/litre en mode impulsif et selon la même configuration que celle décrite ici. La

structure n'étant pas encore optimisée, des progrès importants restent possibles.

Outre les applications mentionnées en préambule de cette description, on pourrait également citer à titre illustratif, outre des  
5 applications de gouvernes d'avion, une application de l'entraînement mécanique de robots manipulateurs, par exemple dans l'industrie automobile.

A titre d'exemple toujours, d'autres applications, requérant une grande bande passante mécanique, telles que la compensation active des  
10 vibrations dans la traction (véhicules urbains, trains à grande vitesse) sont également une application privilégiée.

### Revendications

1. Machine électrique formant actionneur ou générateur, comprenant  
5 une partie active à une ou plusieurs phases destinée à être reliée à une  
source ou à une charge électrique, et une partie passive, ces deux parties  
étant mobiles l'une par rapport à l'autre, la partie active comprenant un  
bobinage solénoïdal global (110, 210, 310) pour chaque phase et  
comportant, à l'intérieur de ce ou ces bobinages, un empilage de parties  
10 ferromagnétiques ou amagnétiques (400) et de parties aimantées (500), les  
parties aimantées ayant des directions d'aimantation parallèles au sens de  
déplacement relatif et des sens d'aimantation opposés successivement l'un  
à l'autre, les parties ferromagnétiques ou amagnétiques de cet empilage  
étant munies de passages traversés chacun par au moins un élément en  
15 coulissement relatif (600) par rapport à la partie active, ce ou ces éléments  
coulissants constituant la partie passive, chaque élément coulissant  
incluant une succession de portions alternativement magnétiques (620) et  
amagnétiques (630) prévues pour se trouver les unes après les autres en  
vis à vis des différentes parties aimantées ou non de l'empilage, de sorte  
20 qu'un flux magnétique alternatif soit alors généré dans le bobinage de  
chaque phase, caractérisé en ce que les passages formés dans les parties  
ferromagnétiques ou amagnétiques de l'empilage forment des orifices dont  
la section interne entoure à chaque fois un élément coulissant, et en ce que  
les éléments coulissants (600) sont des tiges ayant chacune un pourtour  
25 externe complémentaire de la section interne des orifices traversés, de  
sorte que chaque tige (600) vient en interaction magnétique avec la partie  
ferromagnétique ou amagnétique traversée (500) par l'ensemble de son  
pourtour externe.

2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que les  
30 orifices sont de section circulaire et que chaque tige (600) présente la forme  
d'un cylindre de révolution.

3. Machine selon la revendication 2, caractérisée en ce que les tiges  
comportent chacune au moins une rainure longitudinale.



4. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les phases sont au nombre de  $q$  et sont décalées dans le sens du déplacement de la partie mobile d'une distance telle que leurs flux magnétiques respectifs soient déphasés de  $N\pi/q$ ,  $N$  étant un  
5 entier.

5. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque aimant (500) est constitué par un anneau entourant une tige (600) correspondante.

6. Machine selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,  
10 caractérisée en ce que chaque aimant est constitué par une plaque aimantée perpendiculaire au déplacement (500), munie d'une série d'orifices, chaque orifice étant traversé par une tige (600) respective.

7. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque tige est constituée par une âme centrale  
15 amagnétique et une série de bagues (620, 630) alternativement magnétiques et amagnétiques.

8. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte un ou plusieurs capteurs de positionnement (800) de forme annulaire éventuellement fendue,  
20 comprenant un ou plusieurs bobinages, les capteurs étant solidaires de la partie active et traversés par une ou plusieurs des tiges (600) de la partie passive.

9. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les capteurs de position (800) sont positionnés  
25 chacun autour d'une tige et décalés dans le sens du déplacement relatif des parties active et passive.

10. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle inclut au moins un organe (710, 720) de réception des efforts fournis par au moins une tige (600), cette tige (600) et  
30 cet organe coopérant selon un appui monodirectionnel dans le sens d'une traction de la tige, de sorte qu'aucune réaction de l'organe de réception n'est générée sur la tige dans le sens d'une compression de celle-ci.

11. Machine selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'un jeu est ménagé sous l'appui entre tige (600) et organe de réception d'effort (710, 720).

5 12. Machine selon la revendication 10 ou la revendication 11, caractérisée en ce que l'organe de réception d'effort (710, 720) est une plaque transversale et solidaire d'un axe principal de la machine (700), et en ce que chaque tige (600) traverse cette plaque (710, 720) et présente chacune une tête d'appui (640,650) sur cette plaque (710, 720).

10 13. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la ou les tiges (600) présentent une section dont la circonférence forme une ligne lisse sans rupture angulaire.

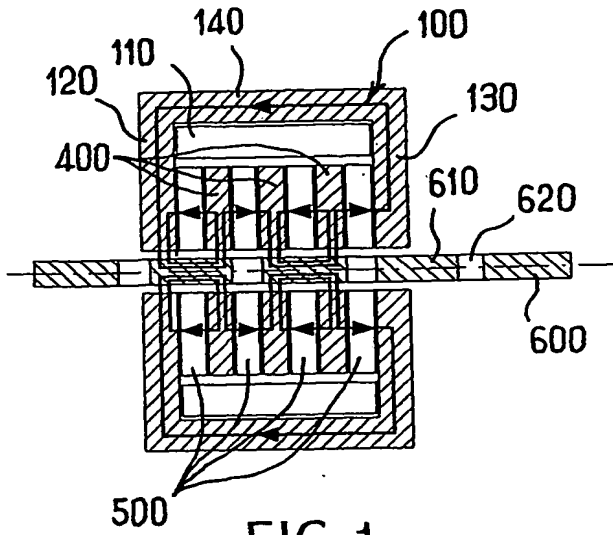


FIG. 1

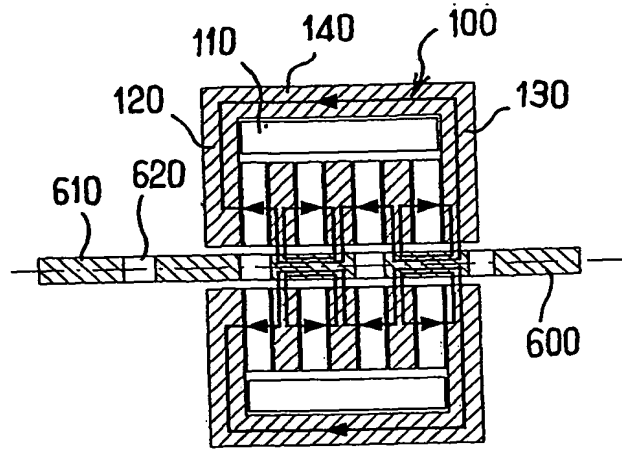


FIG. 2

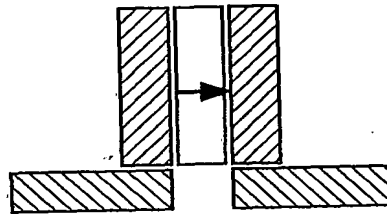


FIG. 2bis

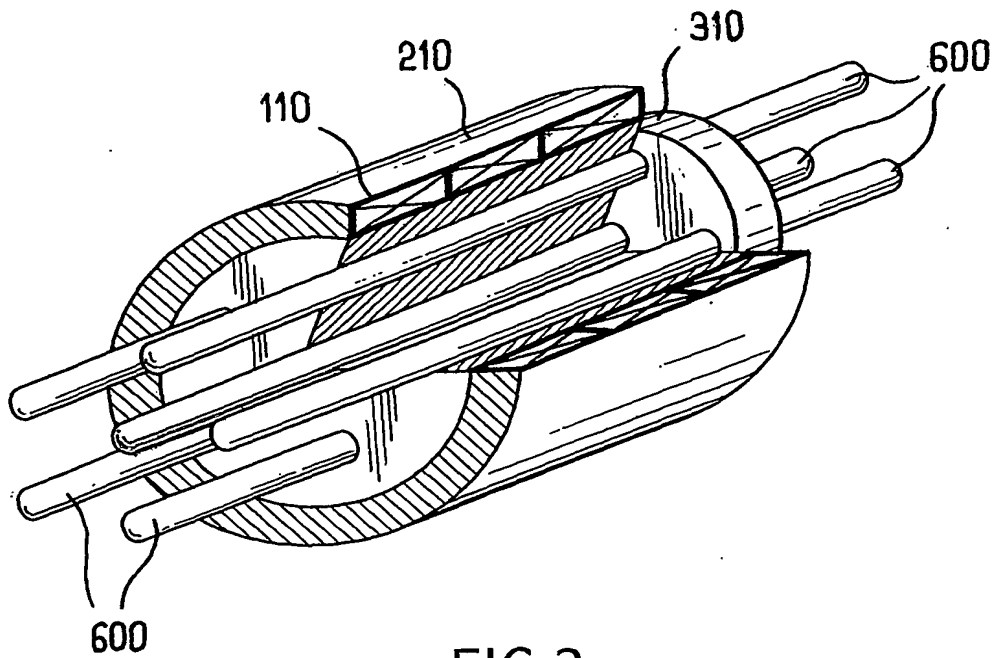


FIG. 3

2 / 4

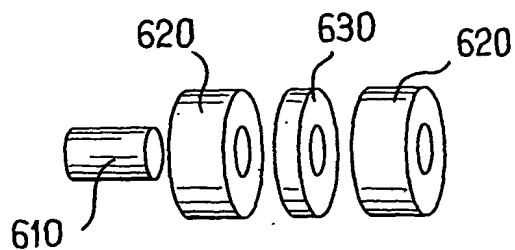


FIG. 4

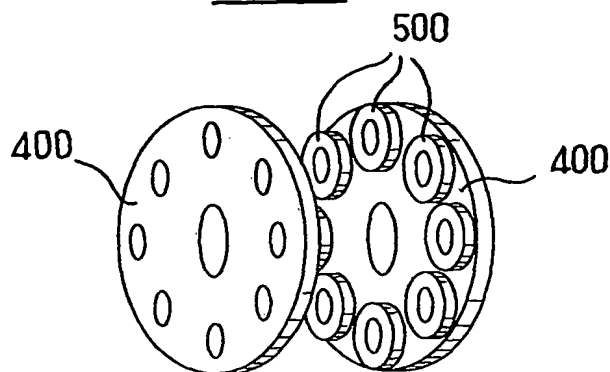


FIG. 5

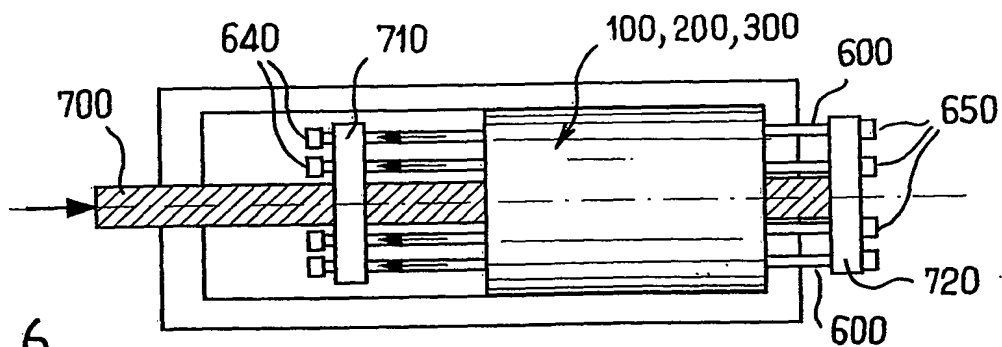


FIG. 6

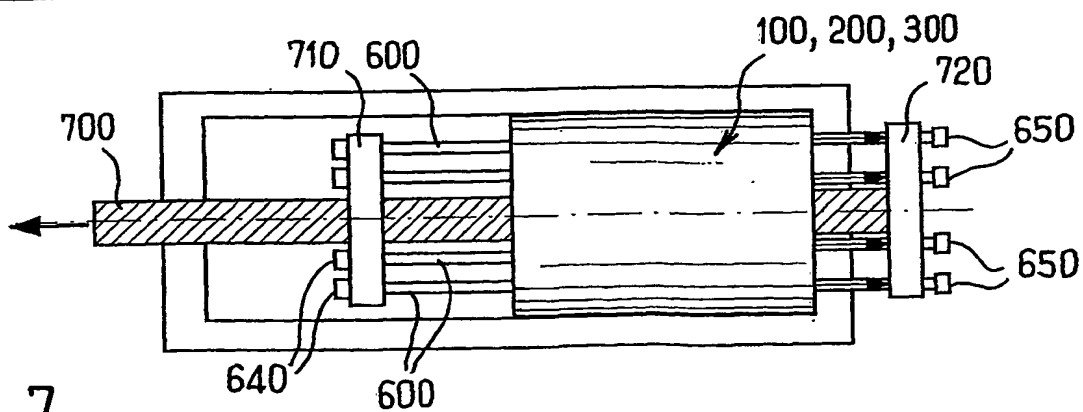


FIG. 7

3 / 4

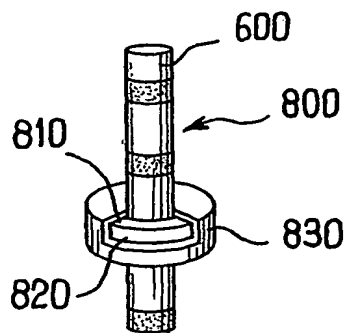


FIG. 8

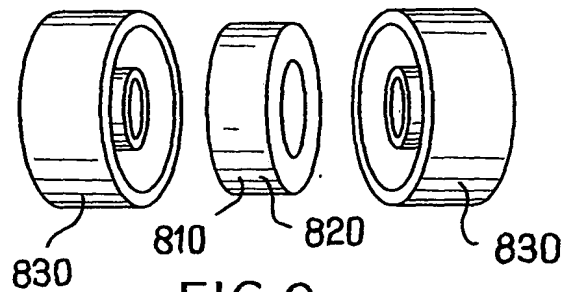


FIG. 9

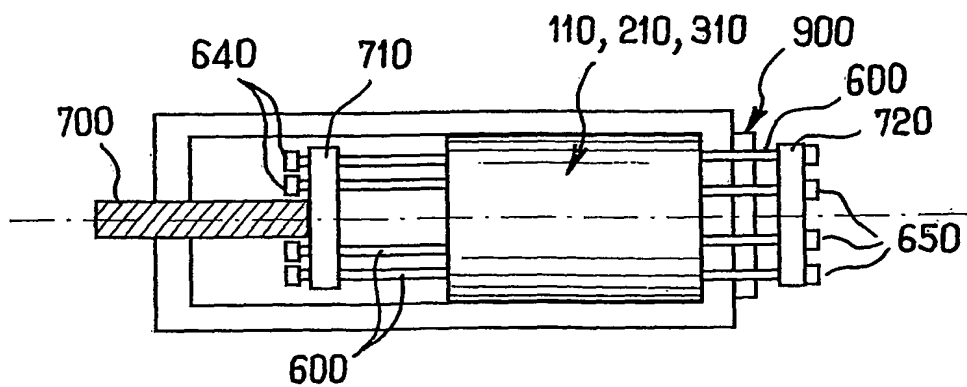


FIG. 10

4 / 4

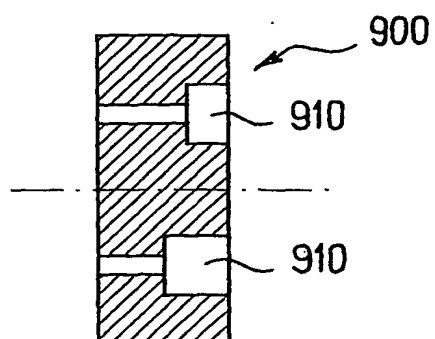


FIG. 11

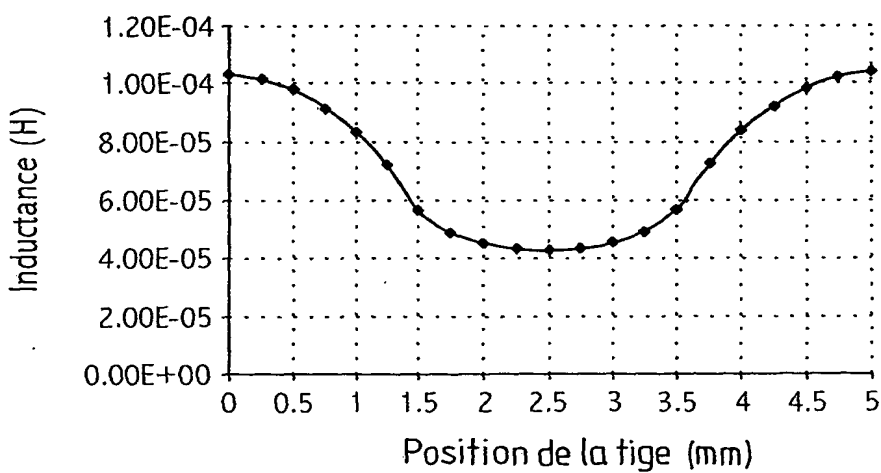


FIG. 12

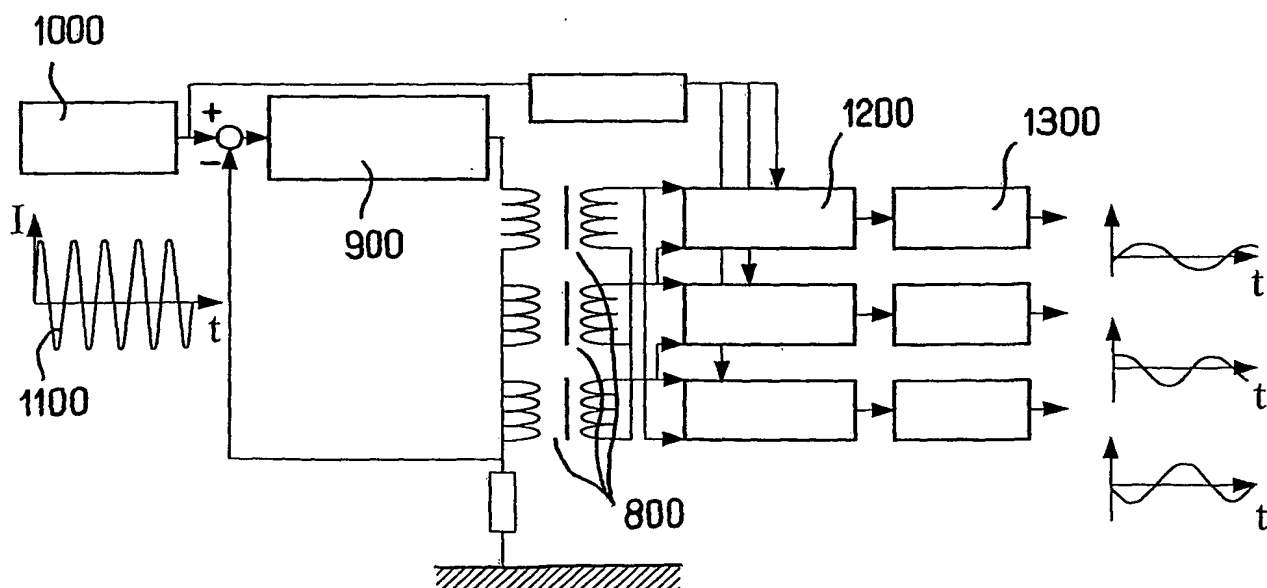


FIG. 13

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/02034

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02K41/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 134 444 A (THK) 19 September 2001 (2001-09-19) page 10, column 18, line 13 - line 48; figure 19 ----	1
A	US 5 081 381 A (NARASAKI) 14 January 1992 (1992-01-14) column 4, line 23 - line 29 ----	1
A	US 3 697 979 A (KEALY) 10 October 1972 (1972-10-10) column 2, line 15 - line 41; figures ----	1
A	EP 0 218 522 A (CGEE ALSTHOM) 15 April 1987 (1987-04-15) page 1, line 4 - page 2, line 6; figures -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*A\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 October 2003

Date of mailing of the international search report

03/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kempen, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/02034

Patent document cited in search report		Application date		Patent family member(s)	Publication date
EP 1134444	A	19-09-2001	JP	2002227839 A	14-08-2002
			EP	1134444 A2	19-09-2001
			US	2003108255 A1	12-06-2003
			US	2001022868 A1	20-09-2001
US 5081381	A	14-01-1992	JP	2651734 B2	10-09-1997
			JP	3243161 A	30-10-1991
			FR	2660125 A1	27-09-1991
US 3697979	A	10-10-1972	CA	917952 A1	02-01-1973
	...		GB	1325921 A	08-08-1973
			NO	132563 B	18-08-1975
			SE	378146 B	18-08-1975
EP 218522	A	15-04-1987	FR	2588132 A1	03-04-1987
			AT	61700 T	15-03-1991
			CA	1271802 A1	17-07-1990
			DE	3678087 D1	18-04-1991
			EP	0218521 A1	15-04-1987
			EP	0218522 A1	15-04-1987
			US	4864169 A	05-09-1989



A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H02K41/03

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H02K H01F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 1 134 444 A (THK) 19 septembre 2001 (2001-09-19) page 10, colonne 18, ligne 13 - ligne 48; figure 19 ----	1
A	US 5 081 381 A (NARASAKI) 14 janvier 1992 (1992-01-14) colonne 4, ligne 23 - ligne 29 ----	1
A	US 3 697 979 A (KEALY) 10 octobre 1972 (1972-10-10) colonne 2, ligne 15 - ligne 41; figures ----	1
A	EP 0 218 522 A (CGEE ALSTHOM) 15 avril 1987 (1987-04-15) page 1, ligne 4 - page 2, ligne 6; figures -----	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 octobre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

03/11/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Kempen, P

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No. ....

PCT/FR 03/02034

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1134444	A	19-09-2001	JP 2002227839 A	14-08-2002
			EP 1134444 A2	19-09-2001
			US 2003108255 A1	12-06-2003
			US 2001022868 A1	20-09-2001
US 5081381	A	14-01-1992	JP 2651734 B2	10-09-1997
			JP 3243161 A	30-10-1991
			FR 2660125 A1	27-09-1991
US 3697979	A	10-10-1972	CA 917952 A1	02-01-1973
			GB 1325921 A	08-08-1973
			NO 132563 B	18-08-1975
			SE 378146 B	18-08-1975
EP 218522	A	15-04-1987	FR 2588132 A1	03-04-1987
			AT 61700 T	15-03-1991
			CA 1271802 A1	17-07-1990
			DE 3678087 D1	18-04-1991
			EP 0218521 A1	15-04-1987
			EP 0218522 A1	15-04-1987
			US 4864169 A	05-09-1989